Elektronový obal atomu

8.1 Celkový náboj elektronů v elektricky neutrálním atomu je $2{,}08 \cdot 10^{-18}$ C. Který je to prvek?

8.2 Dánský fyzik N. Bohr vypracoval teorii atomu, podle níž se elektron v atomu vodíku v základním stavu nachází ve vzdálenosti $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m od atomového jádra tvořeného protonem. Určete, jakou elektrickou silou je elektron přitahován k jádru atomu vodíku. Kolikrát je tato síla větší než gravitační síla mezi elektronem a protonem ve stejné vzájemné vzdálenosti?

8.3 Pro představu o atomu se často konstruují modelové učební pomůcky. Uvažte, jaký rozměr by měla konstrukce modelu atomu vodíku, v němž by jádro tvořila kulička o průměru řádově 1 mm. Použijte poznatek, že průměr atomu je řádově 10^{-10} m a průměr jádra atomu je řádově 10^{-15} m.

8.4 Na základě Bohrovy teorie atomu vodíku určete kinetickou, potenciální a celkovou energii atomu vodíku v základním stavu. Jakou energii je třeba atomu vodíku dodat, aby došlo k jeho ionizaci?

8.5 Energie atomu vodíku v základním stavu je $E_1 = -13{,}6$ eV a ve vzbuzených stavech má atom vodíku energii $E_n = E_1/n^2$, kde n je hlavní kvantové číslo. Nejznámější, tzv. Balmerově spektrální sérii atomu vodíku odpovídá přechod na energetickou hladinu s $n = 2$. Určete tři největší vlnové délky spektrálních čar H_α, H_β, H_γ, které leží ve viditelné části spektra.

8.6 Při přechodu elektronu v atomu vodíku z jedné energetické hladiny na druhou bylo vyzářeno světlo o frekvenci $4{,}57 \cdot 10^{14}$ Hz. O jakou hodnotu se snížila energie atomu?

8.7 Foton s energií 15,5 eV byl pohlcen atomem vodíku v základním energetickém stavu (n = 1) a způsobil jeho ionizaci. Určete rychlost elektronu při opuštění atomu.

8.8 Trubicí naplněnou vodíkem procházejí volné elektrony o energii 1,892 eV a v důsledku vzájemného působení elektronů s atomy vodíku plyn vyzařuje světlo. Jakou barvu má spektrální čára tohoto světla?

8.9 Ve spektru atomu vodíku mělo ultrafialové záření nejkratší vlnovou délku 91,2 nm. Jakou největší hodnotu měla energie atomu vodíku?

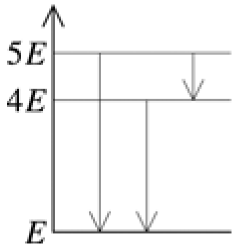
8.10 Pokusy, které provedli v roce 1914 J. Franck a G. Hertz, bylo prokázáno, že dodáním energie 4,89 eV přejde atom rtuti do vzbuzeného stavu. Tomu odpovídá ultrafialové záření rtuti, které se využívá v technické praxi. Určete vlnovou délku tohoto záření.

8.11 Ultrafialovým zářením, jehož největší vlnová délka je 318 nm, lze ionizovat páry cesia. Určete ionizační energii cesia.

8.12 V nedávné době byla jednotka metr definována jako násobek vlnové délky světla, které vyzařuje plyn krypton $_{86}$Kr. Příslušný foton má energii $3{,}278 \cdot 10^{-19}$ J. Určete barvu tohoto světla, jeho vlnovou délku a přibližný násobek vlnové délky, kterým byl metr definován.

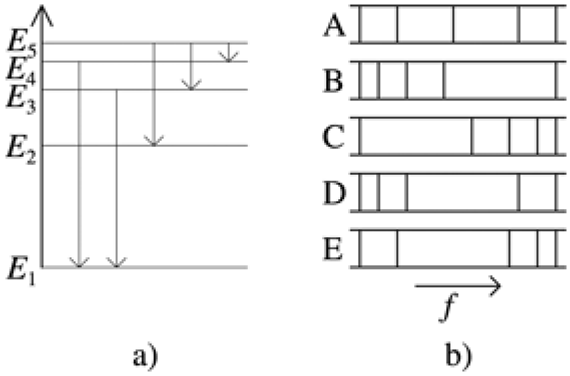
8.13 Na obr. 8-13 [8-1] jsou vyznačeny energetické hladiny atomu, který má v základním stavu energii E. Jestliže elektron přejde z hladiny odpovídající energii $5E$ do základního stavu,

vyzáří se foton o frekvenci *f*. Určete frekvence fotonů vyzářených při přechodech $4E \rightarrow E$, $5E \rightarrow 4E$.



Obr. 8-13

8.14 Na obr. 8-14a [8-2a] jsou vyznačeny energetické hladiny atomu a pět přechodů elektronů z vyšší energetické hladiny do nižší energetické hladiny. Určete, které čárové spektrum na obr. 8-14b [8-2b] těmto přechodům odpovídá.



Obr. 8-14

8.15 V elektronovém obalu může být ve slupce s hlavním kvantovým číslem 2 nejvýše 8 elektronů. Objasněte tuto hodnotu rozborem struktury elektronového obalu z hlediska dalších kvantových čísel jednotlivých elektronů. Kterému atomu tato maximální hodnota přísluší?

8.16 Obdobným způsobem jako v předcházející úloze proveďte rozbor pro elektronovou slupku s $n = 3$ a určete největší počet elektronů v této slupce.

8.17 V elektronové slupce s hlavním kvantovým číslem $n = 4$ může být nejvýše 32 elektronů. Použijte výsledky z předcházejících úloh a najděte obecně platný vztah pro počet elektronů v elektronové slupce s hlavním kvantovým číslem *n*.

Řešení

R8.1 $Q_c = 2{,}08 \cdot 10^{-18}$ C; $n_e = ?$

Počet elektronů $n_e = Z$ a celkový náboj $Q_c = Ze$, kde $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

$$n_e = Z = \frac{Q_c}{e} = 13$$

Je to prvek hliník Al.

R8.2 $r = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m; $F_e = ?$, $F_e/F_g = ?$

$m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_e = 9{,}10 \cdot 10^{-31}$ kg

$$|Q_p| = |Q_e| = e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

$$F_e = k\frac{|Q_p||Q_e|}{r^2} = k\frac{e^2}{r^2} = 8{,}2 \cdot 10^{-8}\ \text{N}$$

$$F_g = \kappa\frac{m_p m_e}{r^2} = 3{,}6 \cdot 10^{-47}\ \text{N}$$

$$\frac{F_e}{F_g} \approx 2{,}3 \cdot 10^{39}$$

R8.3 $d_j' = 1$ mm $= 10^{-3}$ m, $d_j = 10^{-15}$ m, $d_a = 10^{-10}$ m; $d_a' = ?$

$$\frac{d_a'}{d_j'} = \frac{d_a}{d_j} \Rightarrow d_a' = \frac{d_a}{d_j}d_j' = 10^2\ \text{m}$$

R8.4 $r_1 = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m, $|Q_p| = |Q_e| = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; $E_k = ?$, $E_p = ?$, $E_c = ?$, $E_i = ?$

Podle Bohrovy teorie si atom vodíku můžeme představit jako soustavu, ve které se kolem protonu po přibližně kružnicové trajektorii pohybuje elektron. Na elektron působí elektrická síla, která je současně silou dostředivou, takže platí:

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} = \frac{m_e v^2}{r_1} \qquad (1)$$

Pro kinetickou energii platí vztah:

$$E_k = \frac{1}{2}m_e v^2 \qquad (2)$$

Z rovnice (1) vypočítáme součin $m_e v^2$ a po dosazení do vztahu (2) dostaneme:

$$E_k = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1}$$

Potenciální energie atomu vodíku odpovídá práci, kterou vykoná elektrická síla při přemístění elektronu z velké vzdálenosti ($r \to \infty$) do vzdálenosti r_1 od protonu:

$$E_p = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right) = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1}$$

Celková energie:

$$E_c = E_k + E_p = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1} = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1}$$

Po dosazení vychází pro celkovou energii atomu vodíku v základním stavu

$$E_c = -2{,}17 \cdot 10^{-18}\ \text{J} = -13{,}6\ \text{eV}.$$

Aby nastala ionizace atomu vodíku, je třeba mu dodat energii $E_i \geq |E_c| \geq 13{,}6$ eV.

R8.5 $E_1 = -13{,}6$ eV, $n = 2$; $\lambda_\alpha = ?$, $\lambda_\beta = ?$, $\lambda_\gamma = ?$

$$E_n - E_m = hf_{nm}$$

$$\lambda_{nm} = \frac{c}{f_{nm}}$$

$$E_n = \frac{1}{n^2} E_1$$

$$|E_3 - E_2| = 3{,}03 \cdot 10^{-19}\ \text{J},\ \ \lambda_\alpha = 657\ \text{nm}$$

$$|E_4 - E_2| = 4{,}08 \cdot 10^{-19}\ \text{J},\ \lambda_\beta = 488\ \text{nm}$$

$$|E_5 - E_2| = 4{,}58 \cdot 10^{-19}\ \text{J},\ \ \lambda_\gamma = 434\ \text{nm}$$

R8.6 $f = 4{,}57 \cdot 10^{14}$ Hz; $\Delta E = ?$

$\Delta E = hf = 3{,}03 \cdot 10^{-19}$ J

R8.7 $E = 15{,}5$ eV, $n = 1$; $v_e = ?$

$$E_1 = -13{,}6\ \text{eV}$$

$$\Delta E = 1{,}9\ \text{eV} = 3{,}04 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2\Delta E}{m_e}} \approx 8 \cdot 10^5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

R8.8 $E = 1{,}892$ eV; $\lambda = ?$

$$\lambda = \frac{hc}{E} \approx 660\ \text{nm}$$

Světlo má červenou barvu.

R8.9 $\lambda = 91{,}2\ \text{nm} = 9{,}12 \cdot 10^{-8}$ m; $E = ?$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 2{,}2 \cdot 10^{-18}\ \mathrm{J} = 13{,}6\ \mathrm{eV}$$

R8.10 E = 4,89 eV = 7,82 · 10^{-19} J; λ = ?

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 2{,}54 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m} = 254\ \mathrm{nm}$$

R8.11 λ = 318 nm = 3,18 · 10^{-7} m; E = ?

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 6{,}25 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J} \approx 3{,}9\ \mathrm{eV}$$

R8.12 E = 3,278 · 10^{-19} J; λ = ?, k = ?

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 6{,}06 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m} = 606\ \mathrm{nm};\ \text{barva světla je oranžová.}$$

$$k = \frac{1}{\lambda} = 1{,}650 \cdot 10^{6}$$

R8.13 $E_1 = 4E$, $\Delta E_2 = E$; f_1 = ?, f_2 = ?

$$5E - E = hf$$

$$E = \frac{hf}{4}$$

$$4E - E = hf_1$$

$$f_1 = \frac{3E}{h} = \frac{3\frac{hf}{4}}{h} = \frac{3}{4}f$$

$$\Delta E = hf_2$$

$$f_2 = \frac{E}{h} = \frac{hf}{4h} = \frac{1}{4}f$$

R8.14 Přechodům $E_4 \rightarrow E_1$ a $E_3 \rightarrow E_1$ odpovídá větší energie fotonu, a tedy i větší frekvence záření. Přechodům $E_5 \rightarrow E_2$, $E_5 \rightarrow E_3$ a $E_5 \rightarrow E_4$ odpovídá menší energie fotonu, a tedy menší frekvence záření. To zobrazuje spektrum D.

R8.15 U atomu s hlavním kvantovým číslem n = 2 může vedlejší kvantové číslo nabývat hodnot l = 0, 1. Pro l = 0 může mít magnetické kvantové číslo jen hodnotu m = 0 a pro l = 1 je m = –1, 0, 1. Existují tedy čtyři různé kombinace l a m a pro každou existují dva elektrony s různým magnetickým spinovým číslem. Celkem je tedy 8 možností u prvku, který má ve sféře s hlavním kvantových číslem n = 1 dva elektrony, celkem tedy 10 elektronů, což odpovídá neonu.

R8.16 $n = 3$; $l = ?$, $m = ?$

$n = 3$	$l = 0, 1, 2$	$m = -2, -1, 0, 1, 2$	$l = 2$
		$m = -1, 0, 1$	$l = 1$
		$m = 0$	$l = 0$

Pro elektronovou slupku $n = 3$ existuje 9 kombinací kvantových čísel n, l, m a každé kombinaci odpovídají dva elektrony s různým magnetickým spinovým číslem. V elektronové slupce $n = 3$ může být 18 elektronů.

R8.17 $n = 4$, $p = 32$; $p = f(n) = ?$

$n = 1$	2	$2 \cdot 1^2$
$n = 2$	8	$2 \cdot 2^2$
$n = 3$	18	$2 \cdot 3^2$
$n = 4$	32	$2 \cdot 4^2$

Vztah pro p je: $p = 2n^2$